

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-46190

(P2003-46190A)

(43) 公開日 平成15年2月14日 (2003.2.14)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	FI	テーマコード(参考)
H01S 5/22		H01S 5/22	2H047
G02B 6/12		G02B 6/14	5F073
	6/122	H01S 5/062	
	6/14	5/125	
H01S 5/062		G02B 6/12	B

審査請求 未請求 請求項の数20 OL (全 10 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-228866(P2001-228866)

(22) 出願日 平成13年7月30日(2001.7.30)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 青木 雅博

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 100075096

弁理士 作田 康夫

Fターム(参考) 2H047 KA05 KA11 LA01 LA03 LA23

MA07 NA00 PA24 QA02 RA08

5F073 AA13 AA64 AA65 AA74 AA83

CA15 DA24 DA35 EA23 EA29

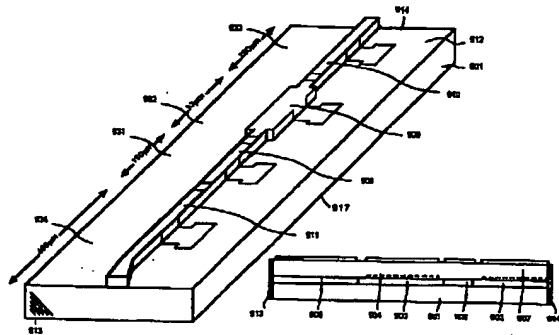
(54) 【発明の名称】 半導体レーザ

(57) 【要約】

【課題】 開示技術の課題は、上記の問題を克服し低しきい値電流で高速動作可能な短共振器レーザや波長安定性に優れた波長可変レーザを実現する素子構造およびその作製方法を提供することを目的とする。

【解決手段】 上記目的を達成するために、レーザ短共振器導波路の一部または全ての部位において導波路横幅を横多モードを許容する幅広に設定する。これにより、上述の短共振器レーザの特長を保ったまま、レーザ利得の向上、電気抵抗、熱抵抗の低減を図る素子構造を考案した。この際、多モード干渉効果による自己結像効果を用いることにより、レーザ共振器内でのモード変換損失を低減できる他、レーザの出射端における光強度分布が単峰な最低次モードとなり、光ファイバ等との接続に好適な構造となる。また、リソグラフィー技術とドライエッチング技術の併用により多モード干渉導波路部を含むレーザ共振器を寸法精度高く作製する手法も合わせて考案した。

図9



【特許請求の範囲】

【請求項 1】半導体基板上にコア領域と、前記コア領域の基板側とは反対側に少なくとも設けられたクラッド領域とを有し、前記コア領域の利得領域の長さが $18\mu\text{m}$ 以上 $200\mu\text{m}$ 以下であり、前記コア領域、前記クラッド領域の少なくとも一方はストライプ形状であり、そのストライプ形状の前記コア領域、前記クラッド領域の少なくとも一方の光軸方向と垂直で、かつ、基板表面と平行な方向に前記ストライプ幅が変調されており、前記ストライプの両端近傍で前記ストライプ幅は横モードが単一となるカットオフ幅よりも狭く設定され、前記利得領域内に水平方向の横幅が横モードが単一となるカットオフ幅よりも広く設定されている部分を有することを特徴とする半導体レーザ。

【請求項 2】前記利得領域内に水平方向の横幅が横モードが単一となるカットオフ幅よりも広く設定されている部分は多横モード導波路部であることを特徴とする請求項 1 記載の半導体レーザ。

【請求項 3】多横モード導波路部の導波モードと横単一モード導波路部の導波モードと両導波路の接合部においてモード変換に伴う変換損失が最小になるように、多横モード導波路の導波路の横幅、導波路長を定めたことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ。

【請求項 4】多横モード導波路の導波路の横幅 W 、導波路長 L 、レーザ導波路の有効屈折率 n 、動作波長 λ とを、 $0.9nW^2/\lambda \leq L \leq 1.1nW^2/\lambda$ を満たすように定めたことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ。

【請求項 5】多横モード導波路の横幅 W が $3 \sim 10\mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ。

【請求項 6】前記クラッド領域および前記コア領域をエッチングすることにより形成した反射鏡を有することを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ。

【請求項 7】横単一モード導波路部に回折格子を形成しブラッグ反射器を形成したことを特徴とする請求項 1 に記載の分布帰還型半導体レーザ。

【請求項 8】横単一モード導波路部に回折格子を形成しブラッグ反射器を形成したことを特徴とする請求項 1 に記載の分布反射型半導体レーザ。

【請求項 9】前記ブラッグ反射器の反射波長を外部信号により変化させ発振波長を人為的に変化させることを特徴とする請求項 7 に記載の波長可変半導体レーザ。

【請求項 10】少なくとも光を外部に導く光ファイバと請求項 1 記載の半導体レーザとを一体化した光モジュール。

【請求項 11】半導体基板上にコア領域と、前記コア領域の基板側とは反対側に少なくとも設けられたクラッド層とを有し、前記コア領域の利得領域の長さが $5\mu\text{m}$ 以上 $200\mu\text{m}$ 以下であり、前記コア領域、前記クラッド領域の少なくとも一方はストライプ形状であり、そのスト

イプ形状の前記コア領域、前記クラッド領域の少なくとも一方の光軸方向と垂直で、かつ、基板表面と平行な方向に前記ストライプ幅が変調されており、前記ストライプの一方の端部近傍で前記ストライプ幅は横モードが単一となるカットオフ幅よりも狭く設定され、前記利得領域内に水平方向の横幅が横モードが単一となるカットオフ幅よりも広く設定されている部分を有することを特徴とする半導体レーザ。

【請求項 12】前記利得領域内に水平方向の横幅が横モードが単一となるカットオフ幅よりも広く設定されている部分は多横モード導波路部であることを特徴とする請求項 1 記載の半導体レーザ。

【請求項 13】多横モード導波路部の導波モードと横単一モード導波路部の導波モードと両導波路の接合部においてモード変換に伴う変換損失が最小になるように、多横モード導波路の導波路の横幅、導波路長を定めたことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ。

【請求項 14】多横モード導波路の導波路の横幅 W 、導波路長 L 、レーザ導波路の有効屈折率 n 、動作波長 λ とを、

$$0.9nW^2/\lambda \leq L \leq 1.1nW^2/\lambda$$

を満たすように定めたことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ。

【請求項 15】多横モード導波路の導波路の横幅 W が $3 \sim 10\mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ。

【請求項 16】前記クラッド層および前記コア層をエッチングすることにより形成した反射鏡を有することを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ。

【請求項 17】横単一モード導波路部に回折格子を形成しブラッグ反射器を形成したことを特徴とする請求項 1 に記載の分布帰還型半導体レーザ。

【請求項 18】横単一モード導波路部に回折格子を形成しブラッグ反射器を形成したことを特徴とする請求項 1 に記載の分布反射型半導体レーザ。

【請求項 19】前記ブラッグ反射器の反射波長を外部信号により変化させ発振波長を人為的に変化させることを特徴とする請求項 17 に記載の波長可変半導体レーザ。

【請求項 20】少なくとも光を外部に導く光ファイバと請求項 1 記載の半導体レーザとを一体化した光モジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は半導体レーザに係わり、特に共振器長が短く高速変調や広範囲波長可変動作に適した通信用半導体レーザとその光モジュールに関する。

【0002】

【従来の技術】端面発光型半導体レーザの共振器長を $200\mu\text{m}$ 程度にまで低減し、低しきい値電流化や緩和振動周

3

波数の増大を図ることが理論的・実験的に知られている。図11はレーザのしきい値電流、緩和振動周波数および直列抵抗のレーザ共振器長依存性を計算した一例である。レーザ活性層として格子歪系のInGaAsP多重量子井戸構造を仮定している。図より短共振器化は、低しきい値電流化および緩和振動周波数の増大に有効であることが判る。しかし、短共振器化に伴い直列抵抗が著しく上昇するため、レーザへの電流注入に伴うジュール熱の発生により光出力特性が大きく劣化する。例えば、共振器長100 μm では直列抵抗は20 Ω に達するが、この値は通常用いられるレーザ共振器400 μm の4倍もの値である。このような観点から、冒頭に述べたように半導体レーザの短共振器化による性能向上は200 μm 程度までしか実現できていないのが現状である。一方、分布反射型レーザにおいて、活性領域長を短縮することにより縦モードの安定化、波長可変幅の増大が図れることが知られている。これは、分布反射型レーザのモード飛び間隔 $\Delta\lambda$ と活性領域長 L_a との間に、 $\Delta\lambda = \lambda^2 / 2nL_a$ なる関係があるためである。ここで、 n はレーザ媒質の屈折率、 λ は共振波長である。この場合においても、 $\Delta\lambda$ を増大させるために共振器長や活性領域を短縮すると、レーザ利得の低下や、電気抵抗、熱抵抗の増大が生じるため実験での上記改善効果の報告はあるものの、実用には至っていないのが実情である。尚、この種の半導体レーザとして第17回半導体レーザ国際会議テクニカルダイジェストペーパーThA4が挙げられる。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】本発明の課題は、上記の問題を克服し低しきい値電流で高速動作可能な短共振器レーザや波長安定性に優れた波長可変レーザを実現する素子構造およびその作製方法を提供することを目的とする。特に従来構造では、実用化が困難であった200 μm 以下の共振器長を有する短共振器レーザを実現することを目的とする。また、これらの光素子を搭載した低コストで高性能動作可能な光モジュールを提供することを目的とする。

【0004】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために本発明者らは、レーザ短共振器導波路の一部または全ての部位において導波路横幅を横多モードを許容する幅広に設定することにより、上述の短共振器レーザの特長を保ったまま、レーザ利得の向上、電気抵抗、熱抵抗の低減を図る素子構造を考案した。この際、多モード干渉効果による自己結像効果を用いることにより、レーザ共振器内でのモード変換損失を低減できる他、レーザの出射端における光強度分布が単峰な最低次モードとなり、光ファイバ等との接続に好適な構造となる。レーザ特性上本構造では多モード干渉導波路部の導波路寸法を正確に設定する必要があるため、寸法誤差の大きい従来のへき開法による共振器の形成は適さない。本発明では、リ

(3)

特開2003-46190

4

ソグラフィ技術とドライエッチング技術の併用により多モード干渉導波路部を含むレーザ共振器を寸法精度高く作製する手法も合わせて考案した。

【0005】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図1～図9を用いて説明する。

実施の形態1

図1は本発明を用いて毎秒40ギガビット以上の高速直接変調を可能とする波長1.3 μm 帯の半導体レーザを作製した例である。図1に示すように、 n 型(100)InP半導体基板101上に有機金属気相成長法により1.0 μm 厚の n 型InPバッファ層102、0.5 μm 厚の n 型InAlAsバッファ層103、0.05 μm 厚の n 型InGaAlAs下側光ガイド層104、6.0nm厚の1%圧縮歪InGaAlAs(組成波長1.37 μm)井戸層、1.0nm厚のInGaAlAs(組成波長1.00 μm)障壁層からなる10周期の多重量子井戸層105、0.05 μm 厚の上側光ガイド層106、0.1 μm 厚の p 型InAlAsクラッド層107、1.5 μm 厚の p 型InPクラッド層108、0.2 μm 厚の高濃度 p 型InGaAsキャップ層を順次有機金属気相成長法により形成する。多重量子井戸活性層105の発光波長は約1.31 μm である。

【0006】次にストライプ形状の誘電体マスクを用いて公知の選択的ドライエッチング技術によりリッジ導波路を形成する。この際、図1に示すように幅1.6 μm の直線形状の単一横モード導波路113に加え、導波路中央部で横幅が広がった多モード干渉導波路114を形成する。

この多モード干渉導波路部の横幅 W_{mmi} と導波路長 L_{mmi} を適切な値に設計することにより、単一モード導波路と多モード干渉導波路間の高い光結合が実現される。ここでは、理論最適近似値($L_{mmi} = nW_{mmi}^2 / \lambda$; n は導波路有効屈折率、 λ は動作波長)を考慮し、横幅を6.0 μm 、長さを89.7 μm とした。作製誤差の観点から $L_{mmi} = nW_{mmi}^2 / \lambda$ を完全に満たすことは困難であるが、 L_{mmi} に $\pm 10\%$ 程度の誤差は通常許容される。また、多モード導波路の横幅 W_{mmi} は3 μm 程度が下限であるため、 $n=3.2$ 程度であることを考慮すると、波長1.55 μm の場合、 L_{mmi} の下限値は18 μm 程度となる。この後、公知のリッジ導波路レーザ構造にウェハ加工した。素子長100 μm に切り出した後、素子の前端面には反射率80%の高反射膜111、後端面には反射率97%の高反射膜112をそれぞれ形成した。図1に示すように、全て直線導波路からなる従来型の素子113を同一基板上に作製しリファレンスとしている。

【0007】図2は類似の実施の形態を表す。図1の実施の形態と異なる点は、レーザ後方の反射端面を公知のドライエッチング技術を用いて作製した点である。この場合、レーザ共振器長を図1の実施の形態よりもさらに短い50 μm 以下にまで短縮でき、後述するように、緩和振動周波数の増大に有効である。

【0008】図3は図2の実施の形態において、レーザ後方の反射ミラーを公知の半導体・空気からなる分布反

10

20

30

40

50

5

射ミラー115に置き換え、さらにミラー後方に光出力モニタ116をモノリシック集積した形態である。

【0009】図4は図2に示すレーザ素子の電流・光出力特性を85℃、CW条件にて調べた結果である。図示のように、従来型の直線導波路レーザでは、42mA程度の低電流レベルで光出力が熱飽和を起こした。この主原因は電気抵抗が高いことである。図4に同時プロットした電気抵抗値の電流依存性からわかるように、直線導波路素子では、50 μ mの短共振器化に伴い抵抗値が40 Ω 以上と非常に高い値となっている。この出力飽和の影響で、所望の光出力が得られないばかりでなく、図5に示す緩和振動周波数の電流依存性から判るように26GHz程度で飽和してしまい、毎秒40ギガビット級の高速直接変調を実現することができない。これに対し、多モード干渉導波路を導入したレーザでは、電気抵抗が約半分の20 Ω にまで低減されている。これは、多モード干渉導波路の導入による電流通電面積が増加した効果である。これにより、図4における飽和光出力は従来素子の約2倍にまで改善できた。また、緩和振動周波数も45GHzまで増大でき、毎秒40ギガビットの高速直接変調が実現可能となる。本発明のさらなる特長は、しきい値電流密度を低減できる点である。従来素子ではレーザ高速性を改善するために共振器長を短縮化すると、活性層体積の減少に伴いしき

$$\Delta\lambda_{\text{DBR}} = \lambda^2 / 2nL_a$$

で与えられる。ここで、 λ は発振波長、 n はレーザ媒質の光学屈折率である。従って、連続波長可変幅を拡大させるためには少なくとも $\Delta\lambda_{\text{DBR}}$ を増大する必要がある。波長帯入が固定の場合、(1)式から明らかなように、 $\Delta\lambda_{\text{DBR}}$ の増大には、 L_a の短縮が唯一の有効手段である。実施の形態2では、実施の形態1と同様のアナロ

【0011】図7において、 n 型(100) InP半導体基板501上に有機金属気相成長法により0.3 μ m厚の n 型 InGaAlAs屈折率制御層(組成波長1.40 μ m) 503、0.02 μ m厚のInAlAsエッチング停止層、0.02 μ m厚の p 型 InPスペーサ層、30nm厚のInGaAsP(組成波長1.37 μ m) 回折格子供給層504を順次有機金属気相成長法により形成する。次に、周期241nmの均一回折格子を公知の手法により回折格子供給層504に刻印する。続いて、いずれも公知の選択エッチングと異種導波路の直接結合技術を用いて、歪InGaAlAs材料からなる5周期の多重量子井戸層502を後に分布反射型レーザの活性領域となる個所のみ選択的に成長する。続いて1.5 μ m厚の p 型 InPクラッド層505、0.2 μ m厚の高濃度 p 型 InGaAsキャップ層を順次有機金属気相成長法により形成する。多重量子井戸活性層502の発光波長は約1.56 μ mである。

【0012】次に絶縁ストライプ形状のマスクを用いて公知の選択的ドライエッチング技術によりリッジ導波路

(4)

特開2003-46190

6

い値キャリア密度が著しく上昇する。このため、図6の利得-キャリア密度相関図に示すように利得飽和領域でレーザが動作する。これは微分利得を低減させるだけでなく、非線型ダンピングを増大させる。この結果、両効果は共にレーザの高速性を劣化させる。本発明によれば、特にしきい値電流密度の増大が問題となる短共振器レーザのしきい値電流密度を低減することができるため、緩和振動周波数の増大とダンピングの抑制を同時に達成できる。このため、簡易な手法でレーザ高速特性の改善を実現できる。

【0010】以上、本発明の典型的な実施の形態をInGaAlAs材料を用いたリッジ導波路型レーザ構造を用いて説明した。本発明は、InGaAsP、GaInNAs、InGaAs、InGaAlP等全ての半導体レーザ材料にて同様に適用可能である。また、リッジ導波路型レーザだけでなく、いわゆる埋め込みヘテロ構造、埋め込みリッジ構造を用いたレーザにも同様に適用可能であることを付記する。

実施の形態2

図7は本発明を用いて発振波長を電気信号により変化できる1.55 μ m帯の分布反射型レーザを作製した例である。分布反射型レーザの連続波長可変特性は、レーザの縦モード跳びにより決定される。レーザ縦モード跳び間隔 $\Delta\lambda_{\text{DBR}}$ は活性領域長 L_a に依存し、

$$(1)$$

を形成する。この際、幅1.6 μ mの直線形状の単一横モード導波路を後に分布反射器、位相調整領域となる領域および活性領域の一部に形成する。さらに、導波路中央部で横幅が広がった多モード干渉導波路を活性領域の中央に形成する。この多モード干渉導波路部の横幅と導波路長を適切な値に設計することにより、単一モード導波路と多モード干渉導波路間の高い光結合が実現される。ここでは、横幅を6.0 μ m、74.6 μ mとした。分布反射器、位相調整領域、活性領域の長さはそれぞれ250 μ m、80 μ m、100 μ mである。各領域の間には25 μ mの分離領域を設けた。全素子長は480 μ mである。成長終了後のウェハをこの後、公知のリッジ導波路レーザ構造にウェハ加工した、素子長480 μ mに切り出した後、素子の前端面には反射率0.1%の低反射膜510、後端面には反射率95%の高反射膜511をそれぞれ形成した。

【0013】作製した分布反射型レーザは、1.550nm帯に単一軸モード発振した。しきい値電流は約10mAであった。レーザ電流60mAでのチップ光出力は約10mWと光通信用途に対し十分な出力を得た。レーザ電流を60mAに保ったまま分布反射器に電流を通電し発振波長をチューニングした。波長可変特性を図8に示す。図8上側は活性領域と位相調整領域の長さの和が410 μ mの従来型分布反射型レーザの波長チューニング特性である。410 μ mに対応した約0.8nmの波長間隔で縦モード跳びが生じている。この縦モード跳びに伴い副モード抑圧比が大きく変動する。一方、本発明の素子では、縦モード跳び波長間隔は

50

1. 6nmに拡大されると共に、縦モード跳びが生じる制御電流間隔が拡大している。これは、活性領域と位相調整領域の長さの和が205 μ mに低減したためであり、モード跳びを生じない連続波長チューニング実現の観点から重要な改善である。一方、単一縦モード性の目安として40dBを基準とすると、本発明の素子では従来素子に比べより広い制御電流範囲で、40dB以上の単一縦モード動作を実現していることがわかる。尚、縦モード跳びの間の波長に発振波長を設定することは、位相調整領域に印加する電流を調整することにより容易に実現可能である。

【0014】このように、分布反射型レーザの活性領域に多モード干渉導波路を導入することで、波長可変時のスペクトル単一性を保ちつつ、十分な光出力を得ることができる。

実施の形態3

図9は実施の形態3は実施の形態2のレーザにおいて、活性領域長を33 μ mまで短縮し、連続波長可変域を拡大した構造である。この場合、位相調整領域を用いずに、数nm程度の連続波長可変が可能である。素子の基本構造・作製は、位相調整領域が無い点、光出力を増大する半導体光増幅器がレーザ出射端にモノリシック集積化されたことを除き、実施の形態3の構造と同じである。レーザ設計上の主な相違点は、活性領域の短縮に伴うレーザ利得低下を補償する目的で回折格子の光結合係数を200 cm^{-1} と大きくしたことと、ブラッグ波長近傍での安定な単一軸モード発振のため、活性層前後方の二領域の回折格子位相を反転させ、いわゆる $\lambda/4$ 位相シフト型とした点である。

【0015】本発明のレーザにて、連続波長可変幅4nm、光増幅器出力10mWを容易に得ることができた。本実施の形態では、活性領域が短いと波長変化に伴う活性領域での光学位相変化はごく僅かである。この結果、縦モード跳びが生じにくくなったことが本発明の重要な点であり、多モード干渉導波路の導入により、電気抵抗の急激な増大を抑制することができる点が発明の本質である。

実施の形態4

実施の形態3の構成に、電界吸収型光変調器736とパワーモニタ735をモノリシック集積化した本発明の新たな実施の形態を図10に示す。この場合、記述の広範囲連続波長可変特性に加え、低チャープな高速変調が実現でき、特に高密度波長多重光伝送における好適な光源を提供するものである。

【0016】以上実施の形態2～4を用いて、分布反射型レーザの活性領域を短縮化して、連続波長可変特性を改善する場合について、多モード干渉導波路を導入することの有用性に関し説明した。本効果は、サンプル回折格子構造、スーパーストラクチャー回折格子構造などを用いた類似の改良型分布反射型レーザにも同様に適用可能であることを付記する。

【0017】

【発明の効果】本発明の実施例に係る半導体発光素子よれば、毎秒40ギガ以上の直接変調を実現できる。光部品の低価格化のみならず、この素子を適用した光通信システムの低価格化、大容量化を実現できる。また、安定な単一モード、高出力で動作する波長可変型分布反射型半導体レーザやこれを搭載した光モジュールを極めて容易な手法で実現できる。本発明の実施例を用いれば、素子性能、歩留まりが飛躍的に向上するだけでなく、この素子を適用した光通信システムの低価格化、大容量化、長距離化を容易に実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の作用を説明するための図である。

【図2】本発明の実施例を説明するための図である。

【図3】本発明の実施例を説明するための図である。

【図4】本発明の効果を説明するための図である。

【図5】本発明の効果を説明するための図である。

【図6】本発明の原理を説明するための図である。

【図7】本発明の実施例を説明するための図である。

【図8】本発明の効果を説明するための図である。

【図9】本発明の実施例を説明するための図である。

【図10】本発明の実施例を説明するための図である。

【図11】レーザ共振器長がレーザ特性に与える影響を説明するための図である。

【符号の説明】

101…n型(100) InP半導体基板、102…n型InPバッファ層、103…n型InAlAsバッファ層、104…n型InGaAlAs下側光ガイド層、105…多重量子井戸層、106…上側光ガイド層、107…p型InAlAsクラッド層、108…p型InPクラッド層、109…表面保護膜、110…上部電極、111…前方高反射膜、112…後方高反射膜、113…直線形状の単一横モード導波路、114…多モード干渉導波路、115…空気・半導体分布反射ミラー下部電極、116…光出力モニタ、117…下部電極、501…n型(100) InP半導体基板、502…多重量子井戸層、503…n型 InGaAlAs屈折率制御層、504…回折格子供給層、505…p型InPクラッド層、506…分布反射領域上部電極、507…位相調整領域上部電極、508…活性領域上部電極、509…表面保護膜、510…前方低反射膜、511…後方高反射膜、517…下部電極、531…分布反射領域、532…位相調整領域、533…多モード干渉導波路活性領域、901…n型(100) InP半導体基板、902…後方分布反射器InGaAlAs屈折率制御層、903…前方分布反射器InGaAlAs屈折率制御層、904…回折格子供給層、905…レーザ活性領域多重量子井戸層、906…光増幅器活性領域多重量子井戸層、907…p型InPクラッド層、908…前方分布反射器上部電極、909…多モード干渉導波路レーザ活性領域上部電極、910…後方分布反射器上部電極、911…光増幅器活性領域上部電極、912…表面保護膜、913…前方低反射膜、914…後方低反射膜、917…下部電極、931…前方分布反射器、932…活性領域、933…後方分布反射器、

9

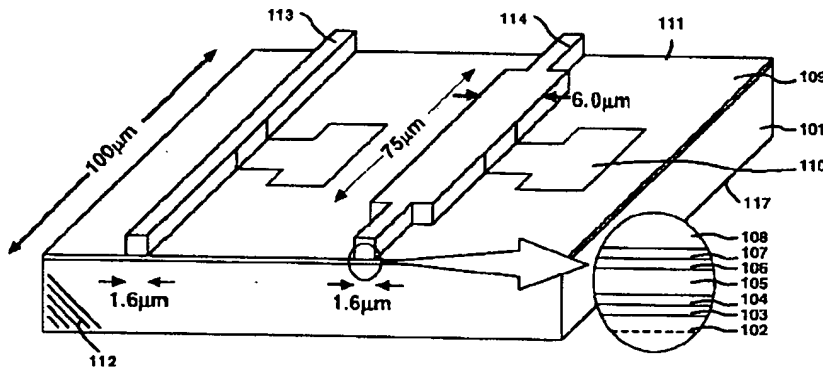
934...光増幅器、701...n型(100)InP半導体基板、702...分布反射器InGaAsP屈折率制御層、703...回折格子供給層、704...レーザ/光増幅器/光変調器活性領域多重量子井戸層、705...p型InPクラッド層、706...鉄ドーブ半絶縁InP

10

埋め込み層、707…窓領域、708…表面保護膜、709…低
反射膜、717…下部電極、731…後方分布反射器、732…
多モード干渉導波路活性領域、733…前方分布反射器、7
34…光増幅器、734…光出力モジュール、734…光変調器。

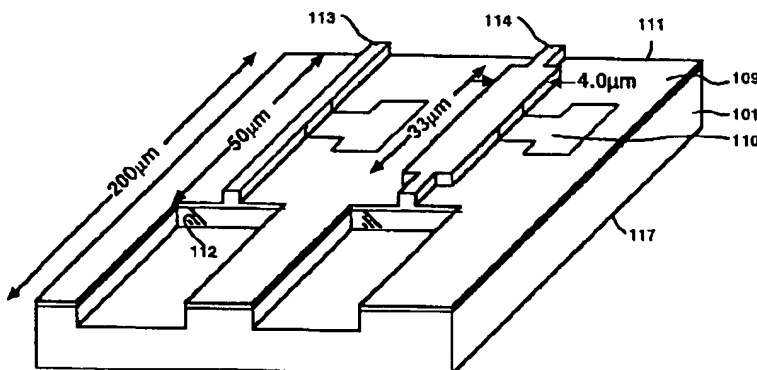
【図 1】

图 1



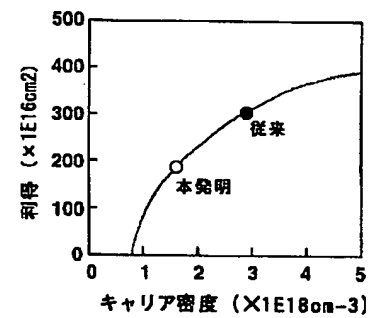
【図 2】

图 2



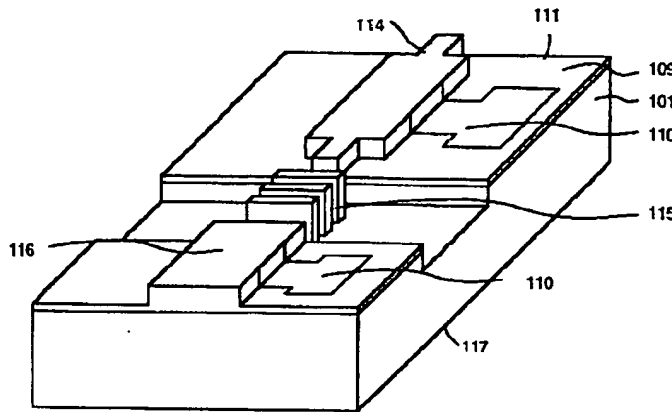
【図 6】

图 6



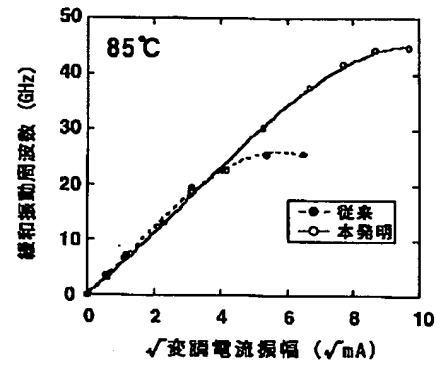
【図3】

図3



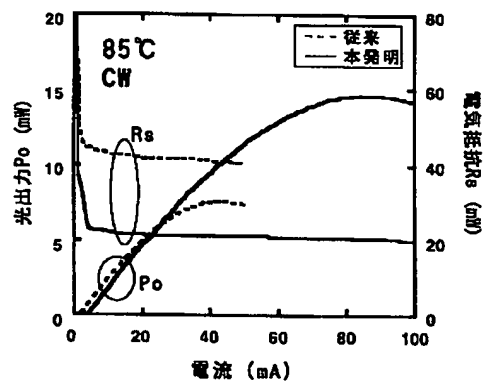
【図5】

図5



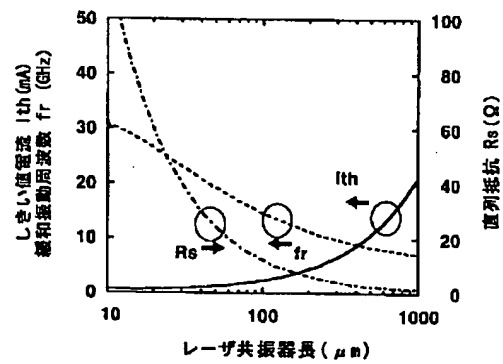
【図4】

図4



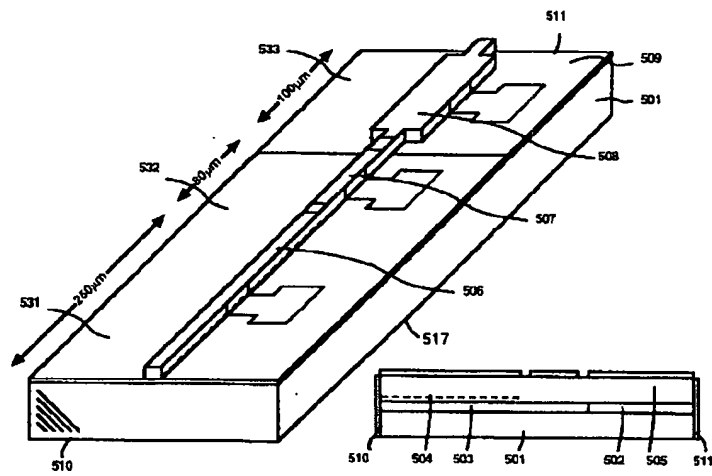
【図11】

図11



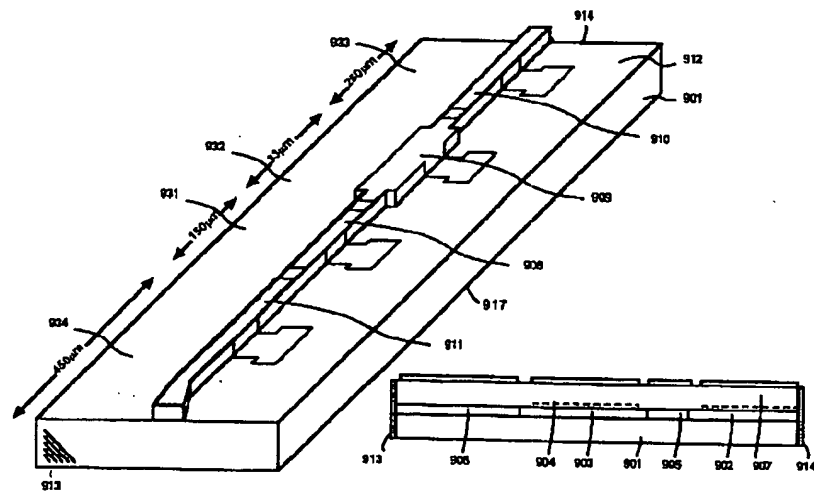
【図7】

図7



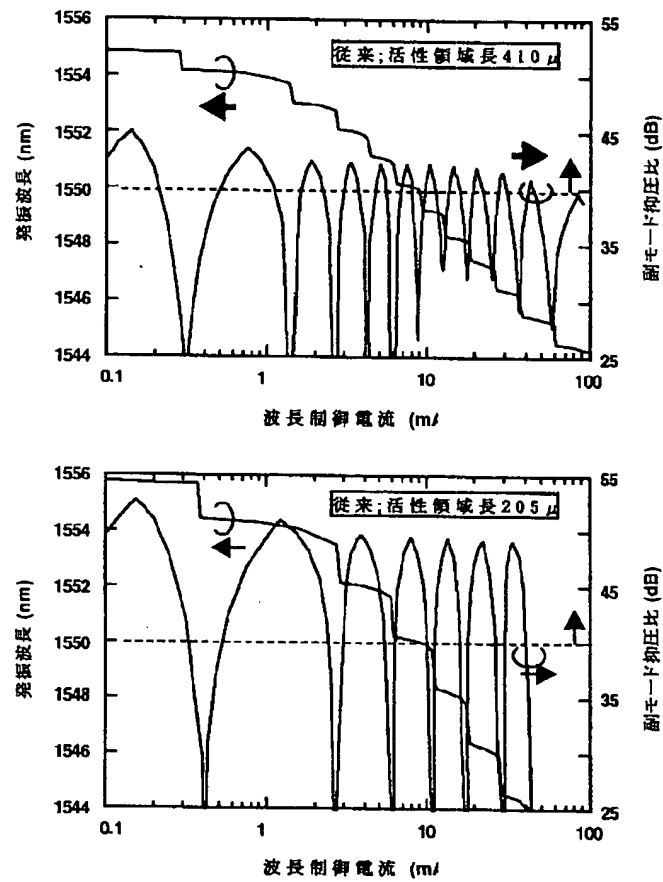
【図9】

図9



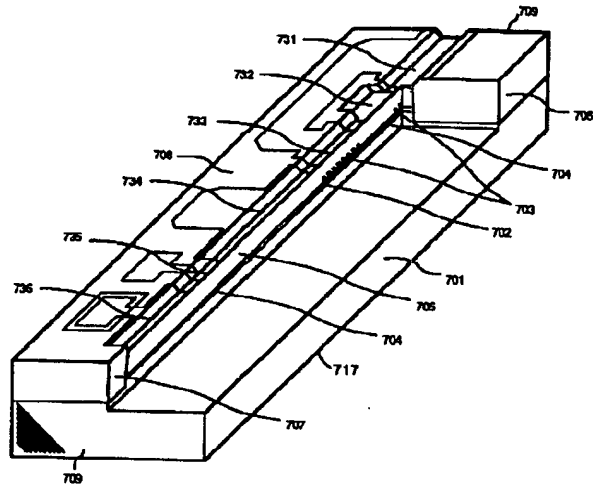
【図8】

図8



【図10】

図10



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁷
H01S 5/125

識別記号

F I
G 0 2 B 6/12

データベース (参考)
F